

# LAMINATED PIEZOELECTRIC ELEMENT

Publication number: JP2004103621 (A)

Publication date: 2004-04-02

Inventor(s): SAKAMOTO TAKAMI +

Applicant(s): KYOCERA CORP +

Classification:

- International: H01L41/083; H01L41/187; H01L41/083; H01L41/18; (IPC-7); H01L41/083; H01L41/187

- European:

Application number: JP20020259390 20020904

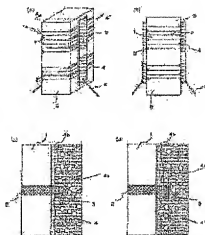
Priority number(s): JP20020259390 20020904

Also published as:

JP3929858 (B2)

Abstract of JP 2004103621 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a laminated piezoelectric element which is capable of preventing external electrodes from being disconnected from the internal electrodes and superior in durability even when it operates continuously under a high pressure in a high electric field for a long term, and to provide an injection device. ; SOLUTION: The laminated piezoelectric element is equipped with a pillar-shaped laminate 1a composed of piezoelectric materials 1 and internal electrodes 2 which are alternately laminated, and a pair of external electrodes 4 which are each provided on the sides of the laminate 1a and where the internal electrodes 2 are alternately connected. A projecting conductive terminal 5 protruding from the side of the pillar-shaped laminate 1a is provided to every other end of the internal electrodes 2, the projecting conductive terminals 5 are embedded in the external electrodes 4 containing conductive material and glass, and the external electrode 4 has a void of 30 to 70%. ; COPYRIGHT: (C)2004,JPO



Data supplied from the espacenet database — Worldwide

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-103621

(P2004-103621A)

(43) 公開日 平成16年4月2日(2004. 4. 2)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

H01L 41/063

H01L 41/187

F1

H01L 41/08

H01L 41/18 \ 101B

H01L 41/18 101D

テーマコード(参考)

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2002-258390 (P2002-258390)

(22) 出願日 平成14年9月4日(2002. 9. 4)

(71) 出願人 000006633

京セラ株式会社

京都府京都市伏見区竹田島羽殿町6番地

(72) 発明者 坂元 隆己

鹿児島県分市山下町1番1号 京セラ株

式会社鹿児島国分工場内

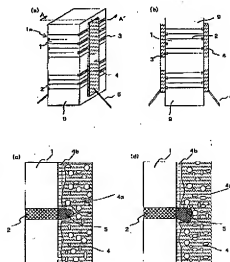
(54) 【発明の名称】 積層型圧電素子

(57) 【要約】

【課題】 高電界、高圧力下で長期間連続駆動させた場合でも、外部電極と内部電極とが断線することなく、耐久性に優れた積層型圧電素子及び噴射装置を提供する。

【解決手段】 圧電体1と内部電極2とを交互に積層してなる柱状積層体1aと、該柱状積層体1aの側面に設けられ、内部電極2が一層あき交互に接続され一対の外部電極4とを具備してなる積層型圧電素子であって、内部電極2の端部に一層あきに柱状積層体1aの側面から突出する突起状導電性端子5が設けられ、該突起状導電性端子5が、導電材とガラスを含有する外部電極4中に埋設されており、その外部電極の空隙率を30~70%とする。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

圧電体と内部電極とを交互に積層してなる柱状積層体と、該柱状積層体の側面に設けられ、前記内部電極が一層おきに交互に接続された一対の外部電極とを具備してなる積層型圧電素子であって、前記内部電極の端部に一層おきに前記柱状積層体の側面から突出する突起状導電性端子が設けられ、該突起状導電性端子が、導電材とガラスを含有する外部電極中に埋設され、その外部電極の空隙率が80〜70%であることを特徴とする積層型圧電素子。

## 【請求項2】

突起状導電性端子が、内部電極の端部に嵌合接合していることを特徴とする請求項1記載の積層型圧電素子。

## 【請求項3】

突起状導電性端子及び外部電極の導電材が、銀を主成分とすることを特徴とする請求項1又は2記載の積層型圧電素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、積層型圧電素子及び噴射装置に関し、例えば、自動車用燃料噴射装置、光学装置等の精密位置決め装置や振動防止用の駆動素子等に用いられる積層型圧電素子に関するものである。

## 【0002】

## 【従来の技術】

従来より、積層型圧電素子としては、圧電体と内部電極を交互に積層した積層型圧電アクチュエータが知られている。積層型圧電アクチュエータには、同時焼成タイプと、圧電磁石と内部電極板を交互に積層したスタックタイプとの2種類に分類されており、低電圧化、製造コスト低減の面から考慮すると、同時焼成タイプの積層型圧電アクチュエータが薄層化に対して有利であるために、その優位性を示しつつある。

## 【0003】

図4は、従来の積層型圧電アクチュエータを示すもので、このアクチュエータでは、圧電体51と内部電極52が交互に積層されて柱状積層体53が形成され、その積層方向における両端面には不活性層55が積層されている。内部電極52は、その一方の端部が左右交互に絶縁体61で被覆され、その上から帯状外部電極70が内部電極52と左右各ター層おきに導通するように形成されている。帯状外部電極70上には、さらにリード線76が半田77により固定されている。

## 【0004】

ところで、近年においては、小型の圧電アクチュエータで大きな圧力下において大きな変位量を確保するため、より高い電界を印加し、長期間連続駆動させることが行われている。

## 【0005】

## 【特許文献1】

特許第8250918号

## 【0006】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記した圧電アクチュエータでは、高電界、高圧力下で長期間連続駆動させた場合、圧電体51間に形成された内部電極52と、正極、負極用の外部電極70との間に剥離が発生し、一部の圧電体51に電圧供給されなくなり、駆動中に変位特性が変化するという問題があった。また、外部電極も長期間連続駆動させた場合、その繰り返し応力により断線し、電圧が供給されなくなると言う問題があった。

## 【0007】

本発明は、高電界、高圧力下で長期間連続駆動させた場合でも、外部電極と内部電極とが

10

20

30

40

50

断線することがなく、耐久性に優れた積層型圧電素子を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】

本発明の積層型圧電素子は、圧電体と内部電極とを交互に積層してなる柱状積層体と、該柱状積層体の側面に設けられ、前記内部電極が一層おきに交互に接続された一対の外部電極とを具備してなる積層型圧電素子であって、前記内部電極の端部に一層おきに前記柱状積層体の側面から突出する突起状導電性端子が設けられ、該突起状導電性端子が、導電材とガラスを含有する外部電極中に埋設され、その外部電極の空隙率が80～70%であることを特徴とする。

【0009】

本発明の積層型圧電素子では、内部電極の端部には突起状導電性端子が設けられ、この突起状導電性端子が外部電極中に埋設されているため、突起状導電性端子のアンカー効果により外部電極が内部電極に強固に接合しており、高電界、高圧力下で長期間連続運転させた場合でも、外部電極と内部電極との断線を抑制することができ、耐久性を大幅に向上させる。

【0010】

また、従来は、内部電極の端部に外部電極を接合しており、外部電極との接合面積が小さく、導電性が低く、接続信頼性も低いものであったが、本発明では、突起状導電性端子を外部電極中に埋設しているため、突起状導電性端子と外部電極との接合面積が大きくなり、外部電極と内部電極間の導電性を向上でき、しかも外部電極と内部電極との接続信頼性も向上できる。

【0011】

また、本発明では突起状導電性端子が、導電材とガラスを含有する外部電極中に埋設され、その外部電極の空隙率が80～70%であるため、熱膨張の差によるクラックの発生や、振動による繰り返し応力に起因する外部電極の破壊を抑え、信頼性を向上させることができる。

【0012】

また、本発明の積層型圧電素子は、突起状導電性端子が、内部電極の端部に拡散接合していることを特徴とする。このような積層型圧電素子では、内部電極の端部に突起状導電性端子をより強固に接合できる。

【0013】

さらに、本発明の積層型圧電素子は、突起状導電性端子及び外部電極の導電材が、銀を主成分とすることを特徴とする。銀は比較的低温で拡散移動しやすいため、後述する製法により、内部電極の端部に突起状導電性端子を容易に形成できるとともに、この突起状導電性端子を外部電極中に容易に埋設できる。また、銀は耐酸化性を有し、ヤング率が低いいため、外部電極として最適となる。

【0014】

【発明の実施の形態】

図1は本発明の積層型圧電アクチュエータからなる積層型圧電素子の一形態を示すもので、(a)は斜視図、(b)は(a)のA-A'線に沿った縦断面図、(c)、(d)は内部電極と外部電極の接合部近傍の拡大図である。

【0015】

積層型圧電アクチュエータは、図1に示すように、圧電体1と内部電極2とを交互に複数積層してなる四角柱状の柱状積層体1aの側面において、内部電極2の端部を一層おきに絶縁体3で被覆し、絶縁体3で被覆していない内部電極2の端部に突起状導電性端子5を設け、該突起状導電性端子5を、銀を主成分とする導電材とガラスからなる外部電極4中に埋設して接合し、各外部電極4にリード線6を接続固定して構成されている。

【0016】

圧電体1は、例えば、チタン酸ジルコン酸鉛 $Pb(Zr, Ti)O_3$ （以下PZTと略す）、或いはチタン酸バリウム $BaTiO_3$ を主成分とする圧電セラミックス材料等で形成

10

20

30

40

50

されている。この圧電セラミックスは、その圧電特性を示す圧電歪み定数 $d_{33}$ が高いものが望ましい。

【0017】

また、圧電体1の厚み、つまり内部電極2間の距離は50~250 $\mu\text{m}$ が望ましい。これは、積層型圧電アクチュエータは電圧を印加してより大きな変位量を得るために、積層数を増加させる方法がとられるが、上記のような圧電体1の厚みを採用することにより、アクチュエータの小型化、低背化を達成できるとともに、圧電体1の絶縁破壊を防止できるからである。

【0018】

圧電体1の間には内部電極2が配されているが、この内部電極2は銀-パラジウム等の金属材料で形成されており、各圧電体1に所定の電圧を印加し、圧電体1に逆圧電効果による変位を起こさせる作用をなす。

【0019】

また、突起状導電性端子5が形成された柱状積層体1aの側面に一層おきに深さ30~500 $\mu\text{m}$ 、積層方向の幅30~200 $\mu\text{m}$ の溝が形成されており、この溝内にガラスが充填されて絶縁体3が形成されている。溝内のガラスはヤング率が小さいものが望ましい。

【0020】

突起状導電性端子5と絶縁体3は、外部電極4が形成された柱状積層体1aの一側面に露出した内部電極2の端部に、交互に形成されている。

【0021】

即ち、溝内に充填された絶縁体3により内部電極2の端部が互い違いに一層おきに絶縁され、内部電極2の絶縁されていない他方の端部は、突起状導電性端子5を介して銀を主成分とする導電材とガラスからなる外部電極4と接合されている。

【0022】

突起状導電性端子5は、内部電極2の端部に拡散接合している。即ち、内部電極2が銀を主成分とし、パラジウムを含有し、突起状導電性端子5が銀を主成分としている場合、内部電極2と突起状導電性端子5の銀が相互に拡散するとともに、内部電極2のパラジウムが突起状導電性端子5に拡散し、これにより突起状導電性端子5が内部電極2の端部に拡散接合している。

【0023】

柱状積層体1aの対向する側面には、導電性ペーストを塗布して形成され、銀を主成分とする導電材と、ガラスとからなる外部電極4が接合しており、この外部電極4中には、突起状導電性端子5が埋設され、これにより外部電極4に内部電極2が一層おきに電気的に接続されている。この銀を主成分とする導電材とガラスからなる外部電極4は、接続されている各内部電極2に圧電体1を逆圧電効果により変位させるに必要な電圧を共通に供給する作用をなす。

【0024】

外部電極4、突起状導電性端子5の導電材は銀を主成分とするもので、これ以外に、ニッケル、銅、金、アルミニウム等の導電性を備えた金属及びそれらの合金から構成されていても良いが、外部電極4の導電材、突起状導電性端子5は、同一金属又は同一合金を主成分とする。

【0025】

外部電極4の導電材、突起状導電性端子5は、耐酸化性を有し、比較的低温で拡散移動しやすく、ヤング率が低いという点から、銀、若しくは銀主成分の合金が望ましい。

【0026】

また、本発明では、外部電極4の圧電体側表層部には、他の部分4aよりもガラス成分が多いガラスリッチ層4bが形成されており、このガラスリッチ層4bが圧電体1表面に接合している。このように、圧電体1に接する外部電極4のガラスリッチ層4bが、外部電極4の他の部分4aよりもガラス成分を多く含むようにすることにより、外部電極4と柱状積層体1aとの接合強度を強固なものとすることができ、ガラスリッチ層4bには、

10

20

30

40

50

ガラスが外部電極4の他の部分4aよりも1.1倍以上の割合で存在する。

【0027】

突起状導電性端子5の周囲に該当する部分にも外部電極4のガラスリッチ層4bが形成され易いが、突起状導電性端子5は外部電極4の導電材と接続しており、さらなる導電性向上のためにはガラスリッチ層4b中の導電材量が多い方が望ましい。

【0028】

尚、突起状導電性端子5の形状、突起状導電性端子5に接するガラスリッチ層4b及び圧電体1に接するガラスリッチ層4bの形状、厚み等は、図1(c)、(d)に示すように、均一である必要はない。

【0029】

また、外部電極4中の導電材は50～95体積％、残部のガラス成分は5～50体積％とされている。これにより、適度なガラス成分量を確保できるため、外部電極4と柱状積層体1a及び突起状導電性端子5との接合強度を効果的に高めることができ、また、外部電極4の抵抗値を低くでき、外部電極4の局所発熱を抑制し、外部電極4の断線を防止できる。

【0030】

また、外部電極4の空隙率は30～70％が望ましい。外部電極中の空隙率が30％未満の場合、外部電極4は密化してしまい、ヤング率が高くなり、長期間駆動した場合にその繰り返し応力により、クラックが発生し断線してしまう。空隙率が70％を超える場合、外部電極としての強度が低くなり、断線や局所発熱により素子が破壊してしまう。

【0031】

外部電極4の空隙率を調整するためには、銀ガラス導電性ペースト中のバインダー添加量を変化させたり、また焼き付け時の熱処理温度を変化させたり、熱処理時間を長くしたり、ガラスの軟化点を変化させることにより達成できる。

【0032】

例えば、ガラスの軟化点より高い温度で熱処理すると、空隙率は少なくなり、逆に低い温度で熱処理すると空隙率は高くなる。軟化点に対し90％から120％の範囲で熱処理することにより、空隙率を30～70％に調整できる。

【0033】

また、導電性ペースト中のバインダー量を増やすことによりペーストの密度を低下させたり、電極の焼き付け処理中に分解して飛散する有機物からなるボア材を添加したりすることもある。

【0034】

また、外部電極4を構成するガラスとしては、外部電極4を形成する際の作業温度が400～980℃であるシリカガラス、ソーダ石灰ガラス、鉛アルカリけい酸塩ガラス、アルミノほうけい酸塩ガラス、ほうけい酸塩ガラス、アルミノけい酸塩ガラス、ほう酸塩ガラス、りん酸塩ガラス等を用いることが好ましい。

【0035】

例えば、ほうけい酸塩ガラスとしては、 $SiO_2$  40～70重量％、 $B_2O_3$  2～30重量％、 $Al_2O_3$  0～20重量％、 $MgO$ 、 $CaO$ 、 $8rO$ 、 $BAO$ のようなアルカリ土類金属酸化物を総量で0～20重量％、 $Na_2O$ 、 $K_2O$ 、 $Li_2O$ のようなアルカリ金属酸化物を総量で0～10重量％含有するものを使用することができ。また、上記のほうけい酸塩ガラスに、5～30重量％の $ZnO$ を含むようなガラスとしても構わない。 $ZnO$ は、ほうけい酸塩ガラスの軟化点の温度を低下させる効果がある。

【0036】

また、りん酸塩ガラスとしては、 $P_2O_5$  40～80重量％、 $Al_2O_3$  0～30重量％、 $B_2O_3$  0～30重量％、 $ZnO$  0～30重量％、アルカリ土類金属酸化物0～30重量％、アルカリ金属酸化物0～10重量％を含むようなガラスを使用することができ。

【0037】

また、鉛ガラスとしては、 $PbO$  80～80重量％、 $SiO_2$  0～40重量％、 $B_2O_3$  0

10

20

30

40

50

30 0～30重量%、 $Al_2O_3$  0～20重量%、 $ZnO$  0～30重量%、アルカリ土類金属酸化物 0～30重量%、アルカリ金属酸化物 0～10重量%を含むようなガラスを使用することができる。

【0038】

外部電極4にはリード線6が半田により接続固定されている。このリード線6は外部電極4を外部の電圧供給部に接続する作用をなす。

【0039】

本発明の積層型圧電素子の製法について説明する。まず、柱状積層体1aを作製する。PZT等の圧電セラミックスの仮焼粉末と、アクリル系、アセチレン系等の有機高分子から成るバインダーと、DBP（フタル酸ジブチル）、DOP（フタル酸ジペンチル）等の可塑剤とを混合してスラリーを作製し、該スラリーを周知のドクターブレード法やカレンダーロール法等のテープ成型法により圧電体1となるセラミックグリーンシートを作製する。

【0040】

次に、銀-パラジウム粉末にバインダー、可塑剤等を添加混合して導電性ペーストを作製し、これを前記各グリーンシートの上にスクリーン印刷等によって1～40μmの厚みに印刷する。

【0041】

そして、上面に導電性ペーストが印刷されたグリーンシートを複数積層するとともに、この積層体の上下面に、導電性ペーストが印刷されていないグリーンシートを複数積層し、この積層体を所定の温度で脱バインダーを行った後、900～1200℃で焼成することによって作製される。

【0042】

その後、図2(a)に示すように、ゲイシング装置等により柱状積層体1aの側面に一層おきに溝を形成する。そして、図2(b)に示すように該溝部にガラス粉末を分散させたペーストを充填し、700～1000℃で焼き付けを行い、ガラスを溝に充填し、柱状積層体1aを作製する。

【0043】

その後、柱状積層体1aの溝を形成した側面に、図2(c)に示すように、平均粒径0.1～10μmの銀粉末（融点：960℃）を50～95体積%と、残部が平均粒径0.1～10μmでケイ素を主成分とする軟化点が400～930℃のガラス粉末5～50体積%からなる混合物に、バインダーを加えて作製した銀ガラス導電性ペースト21を塗布し、ガラスの軟化点よりも高い温度、且つ銀の融点以下の温度で焼き付けを行うことにより、銀ガラス導電性ペースト21中の銀が内部電極2端部に集合し、図2(d)に示すように、突起状導電性端子5が形成されるとともに、外部電極4を形成することができる。

【0044】

即ち、銀ガラス導電性ペースト21中にガラス成分を分散させ、ガラスの軟化点よりも高い温度で、且つ銀の融点以下で熱処理することにより、ガラスが軟化し、この状態において圧電体1には拡散しにくい銀が内部電極2の端部に集合して突起状導電性端子5を形成し、同時に該突起状導電性端子5及び圧電体1近傍にはガラス成分が集まる。このようにして、突起状導電性端子5及び外部電極4が形成することができる。

【0045】

また、同時に内部電極2を構成する銀とパラジウムが突起状導電性端子5に拡散し、突起状導電性端子5と内部電極2との接合が強固なものとなる。突起状導電性端子5の柱状積層体1aからの突出高さは、1μm以上、特に3μm以上が好ましい。このように、突出高さを高くするためには、焼き付け時の熱処理温度を高くしたり、熱処理時間を長くしたり、ガラスの軟化点を低下させることにより達成できる。該銀ガラス導電性ペーストの焼き付け温度は、溝部に充填したガラスの焼き付け温度以下の温度が好ましい。

【0046】

上述のように、突起状導電性端子5及び外部電極4を形成した後、リード線6を接続することにより本発明の積層型圧電素子が完成する。

【0047】

そして、リード線8を介して一対の外部電極4に0.1~3kV/mmの直流電圧を印加し、柱状積層体1aを分極処理することによって、製品としての積層型圧電アクチュエータが完成し、リード線6を外部の電圧供給部に接続し、リード線6及び外部電極4を介して内部電極2に電圧を印加させれば、各圧電体1は逆圧電効果によって大きく変位する。

【0048】

以上のように構成された積層型圧電素子は、内部電極2の端部には突起状導電性端子5が設けられ、この突起状導電性端子5が外部電極4中に埋設されているため、突起状導電性端子5のアンカー効果により外部電極4が内部電極2に強固に接合しており、高電界、高圧力下で長期間連続運転させた場合でも、外部電極4と内部電極2との断線を抑制することができ、耐久性を大幅に向上させる。

【0049】

また、突起状導電性端子5を外部電極4中に埋設しているため、突起状導電性端子5と外部電極4との接合面積が大きく、外部電極4と内部電極2間の導電性を向上でき、しかも外部電極4と内部電極2との接続信頼性も向上できる。

【0050】

また、突起状導電性端子が、導電材とガラスを含有する外部電極中に埋設され、その外部電極の空隙率を30~70%にすることにより、熱膨張の差によるクラックの発生や、駆動による繰り返し応力に起因する外部電極の破壊を抑え、信頼性を向上させることができる。

【0051】

尚、本発明では、図8に示すように、外部電極4の外側に導電性補助部材7を形成してもよい。この場合には、外部電極4の外面に導電性補助部材7を設けることによりアクチュエータに大電流を投入し、高速で駆動させる場合においても、大電流を導電性補助部材7に流すことができ、外部電極4に流れる電流を低減でき、外部電極4が局所発熱を起こし断線することを防ぐことができ、耐久性を大幅に向上させることができる。

【0052】

なお、導電性補助部材7は、板状導電部材、導電性接着剤、導電性コイル、導電性波板、導電性纖維集合体（ウール状）の一つ若しくは複合体からなる。

【0053】

本発明の積層型圧電素子はこれらに限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲であれば種々の変更は可能である。

【0054】

また、上記例では、柱状積層体1aの対向する側面に外部電極4を形成した例について説明したが、本発明では、例えば隣接する側面に一対の外部電極を形成してもよい。

【0055】

【実施例】

実施例1

まず、柱状積層体を作製した。圧電体は厚み150μmのPZTで形成し、内部電極は厚み8μmの銀-パラジウム合金によって形成し、圧電体及び内部電極の各々の積層数は300層とした。

【0056】

その後、図2(a)に示すように、ダイシング装置により柱状積層体側面の内部電極の端部に一層おきに深さ50μm、幅50μmの溝を形成した。そして、図2(b)に示すように該溝部にガラス粉末を分散させたペーストを充填し、900℃で焼き付けを行い、ガラスを溝に充填した。

【0057】

次に、平均粒径5μmの銀粉末を90体積%と、残部が平均粒径5μmのケイ素を主成分とする軟化点が600℃の非晶質のほうけい酸塩ガラス（Si、Al、Bを含有）粉末10体積%との混合物にバインダーを加え、十分に混合して銀ガラス導電性ペーストを作製

10

20

30

40

50



し、図2(c)に示すように、前記柱状積層体の溝を形成した側面に塗布し、700℃で焼き付けを行い、図2(d)に示すように、突起状導電性端子を形成するとともに、外部電極を形成した。突起状導電性端子の積層方向厚みは平均で3μm、柱状積層体の側面からの突出高さは平均で5μmであった。

【0058】

この時、該突起状導電性端子の主成分は銀で、該突起状導電性端子には、内部電極からバリウムが拡散していることを確認した。また、外部電極の突起状導電性端子及び圧電体に接する部分には、他の外部電極の部分よりもガラス成分が多いガラスリッチ層が形成されており、そのガラスリッチ層の平均的な厚みは約2μmであった。

【0059】

その後、外部電極にリード線を接続し、正極及び負極の外部電極にリード線を介して3kV/mmの直流電界を15分間印加して分極処理を行い、図1に示すような積層型圧電アクチュエータを作製した。

【0060】

得られた積層型圧電アクチュエータに150Vの直流電圧を印加した結果、積層方向に40μmの変位量が得られた。さらに、このアクチュエータに室温で0～+150Vの交流電圧を150Hzの周波数にて印加し駆動試験を行った結果、 $1 \times 10^8$  サイクルまで駆動したところ40μmの変位量が得られ、外部電極の異常は見られなかった。表1のサンプルNo. 1に記載する。

実施例2

次に、銀ガラス導電性ペースト中の銀含有率とガラス軟化点を変化させ、外部電極4の焼き付けの熱処理温度を変化させて、空隙率を変化させた以外は、実施例1と同様の構成の積層型圧電アクチュエータ(No. 2～8)を作製したところ、No. 1～7のサンプルにおいて、銀を主成分とする突起状導電性端子が柱状積層体の内部電極端部に形成されていた。空隙率の測定は、外部電極4の断面を鏡面加工し、画像解析にて測定した。なお、No. 6～8のサンプルは比較例であり、No. 6のサンプルにおいては、突起状導電性端子は形成されていたが、外部電極4の空隙率が15%と本発明の範囲外であり、No. 7～8のサンプルにおいては突起状導電性端子は形成されていなかった。

【0061】

得られた積層型圧電アクチュエータに室温で0～150Vの交流電圧を150Hzの周波数にて印加し、駆動試験を行った。初期に得られた変位量はすべてのサンプル(No. 1～8)において40μmであった。併せて、室温で0～200Vの交流電圧を150Hzの周波数においても駆動試験を行った。得られた結果を表1に示す。

【0062】

【表1】

10

20

30

サンプル No.	銀含有率 (体積%)	ガラス 軟化点 (℃)	焼き付け温 度 (℃)	外部電極 空隙率	評価結果	
					150V駆動	200V駆動
1	90	600	700	30%	1×10 <sup>8</sup> 異常なし	1×10 <sup>8</sup> 異常なし
2	95	600	650	35%	1×10 <sup>8</sup> 異常なし	1×10 <sup>8</sup> 異常なし
3	90	600	600	40%	1×10 <sup>8</sup> 異常なし	1×10 <sup>8</sup> 異常なし
4	70	600	580	60%	1×10 <sup>8</sup> 異常なし	1×10 <sup>8</sup> 異常なし
5	50	600	550	70%	1×10 <sup>8</sup> 異常なし	1×10 <sup>8</sup> 異常なし
6	40	600	800	15%	1×10 <sup>8</sup> 異常なし	2×10 <sup>7</sup> 外部電極断線
7	90	600	500	80%	1×10 <sup>8</sup> 異常なし	6×10 <sup>7</sup> 外部電極スパーク
8	98	980	500	80%	3×10 <sup>6</sup> 外部電極スパーク	4×10 <sup>5</sup> 外部電極スパーク

10

20

## 【0063】

サンプルNo. 8の突起状導電性端子が形成されていないサンプル以外の全てのサンプルにおいて、150Vで1×10<sup>8</sup>サイクルまで駆動したところ40μmの変位が得られ、外部電極の異常は見られなかった。また、突起状導電性端子が形成されていたサンプルNo. 1～6においては、外部電極と内部電極とが突起状導電性端子を介して電気的に強固に接合されているため、1×10<sup>8</sup>サイクルまで外部電極と内部電極との間でスパークが生じることはなかった。

## 【0064】

一方、突起状導電性端子が形成されなかったNo. 7～8のサンプルの場合、外部電極と内部電極との接続が弱く、外部電極と内部電極の接点においてスパークが生じてしまった

30

## 【0065】

さらに、駆動条件が厳しい200Vでの駆動の結果、本発明の範囲内であるNo. 1、2、3、4、5のサンプルにおいては、200Vの駆動においても、1×10<sup>8</sup>サイクルまで駆動しても外部電極の断線、スパークといった異常は見られなかった。一方、No. 6のサンプルは外部電極4の空隙率が低いため、外部電極が断線してしまった。

## 【0066】

即ち、外部電極中の銀の含有率を50～95体積%、ガラス成分の軟化点を銀の融点以下、外部電極の空隙率を30～70%にすることにより、高電界で高速に連続駆動した場合においても、突起状導電性端子が内部電極と外部電極を強固に電気的に接合し、また外部電極が強固に柱状積層体と接合されているため、外部電極の断線、外部電極と内部電極の接点でのスパークといった問題が生じることはなかった。

40

## 【0067】

## 【発明の効果】

本発明の積層型圧電素子によれば、内部電極の端部には突起状導電性端子が設けられ、この突起状導電性端子が外部電極中に埋設されているため、突起状導電性端子のアンカー効果により外部電極が内部電極に強固に接合しており、高電界、高圧力下で長期間連続運転させた場合でも、外部電極と内部電極との断線を抑制することができ、耐久性を大幅に向上させる。また、本発明では、突起状導電性端子を外部電極中に埋設しているため、突起状導電性端子と外部電極との接合面積が大きく、外部電極と内部電極間の導電性を向上す

50

き、しかも外部電極と内部電極との接続信頼性も向上できる。また、突起状導電性端子が、導電材とガラスを含有する外部電極中に埋設され、その外部電極の空隙率が30%から70%であるため、熱膨張の差によるクラックの発生や、駆動による繰り返し応力に起因する外部電極の破壊を抑え、信頼性を向上することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の積層型圧電素子を示すもので、(a)は斜視図、(b)は(a)のA-A'線に沿った縦断面図、(c)及び(d)は(b)の一部を拡大して示す断面図である。

【図2】(a)～(d)は本発明の積層型圧電素子の製法を説明するための工程図である。

【図3】本発明の積層型圧電素子の他の実施形態を示すもので、(a)は斜視図、(b)は(a)のA-A'線断面図である。

【図4】従来技術の積層型圧電アクチュエータの縦断面図である。

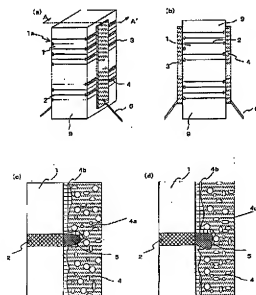
【符号の説明】

- 1・・・圧電体
- 1a・・・柱状積層体
- 2・・・内部電極
- 4・・・外部電極
- 4b・・・ガラスリッチ層
- 5・・・突起状導電性端子

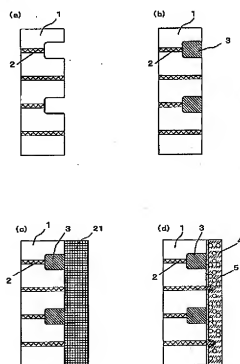
10

20

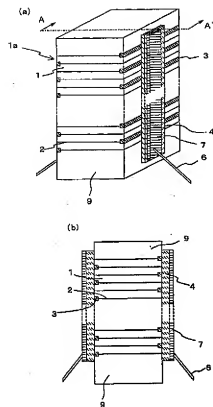
【図1】



【図2】



【図 3】



【図 4】

